

УДК 539.4+620.1

О.В.Тимошенко¹, канд.техн.наук, О.А.Мохонько², канд.физ-мат.наук
1-Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, 2-Національний університет України ім. Шевченко, м.Київ, Україна

РОЗРАХУНОК КРИТИЧНИХ ЗНАЧЕНЬ ПОШКОДЖУВАНOSTI КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ПРУЖНО-ПЛАСТИЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ.

Получено уравнение для оценки критических величин поврежденности металлических конструкционных материалов в зависимости от вида напряженного состояния при статическом нагружении. Построена поверхность, которая позволяет определить критические значения поврежденности металлических конструкционных материалов при упруго-пластическом деформировании.

Derived an equation for damage critical values estimation for metallic structural materials in dependence of deflected mode for static loading. Plotted surface, that allows to determine critical damage values of metallic structural materials under elasto-plastic deformation.

Проблема прогнозування ресурсу конструкції на стадії проектування та при технологічному і експлуатаційному навантаженні є надзвичайно актуальною. Явище накопичення незворотних змін фізико-механічних властивостей в навантажених елементах конструкцій призводить до утворення мікротріщин в місцях накопичення крапкових лінійних та поверхневих дефектів, постійний розвиток яких веде до їх руйнування [1].

Ключовими параметрами, для розв'язку задачі довговічності при пружно-пластичному деформуванні, є закон накопичення мікропошкоджень [2, 3], який дозволяє виявити внутрішню структуру процесу руйнування, оцінити залишковий ресурс та пошкодження матеріалу; критерій зародження макротріщини, що визначає строк експлуатації та граничну довговічність; живучість, яка визначає час життя конструкції із вже утвореною макротріщиною.

На кафедрі ДММ та ОМ НТУУ «КПІ» був проведений комплекс експериментальних досліджень кінетики накопичення пошкоджуваності [4, 5, 6, 8, 9] для сталей 45, 30ХГСА та 12Х18Н10Т, алюмінієвого сплаву Д16Т, титанового сплаву ВТ22 за допомогою вимірювання питомого електроопору [7], який безпосередньо враховує внутрішню деградацію матеріалу з визначенням порогового та критичного значень мікроруйнувань. За отриманими результатами та літературними даними для ряду металічних конструкційних матеріалів [10, 11] на рис. 1 побудовані криві залежності $D_R = f(\epsilon_{ir})$ для розтягування (крива 1) та кручення (крива 2). Вони у першому наближенні носять лінійний характер. Аналіз отриманих результатів показав, що критичне значення пошкоджуваності для конструкційних металів $D_R < 1$. Таким чином застосування гіпотези про критичне значення пошкоджуваності для конструкційних матеріалів $D_R = 1$ є неприйнятним, так як розрахунки при цьому виконуються не в запас міцності.

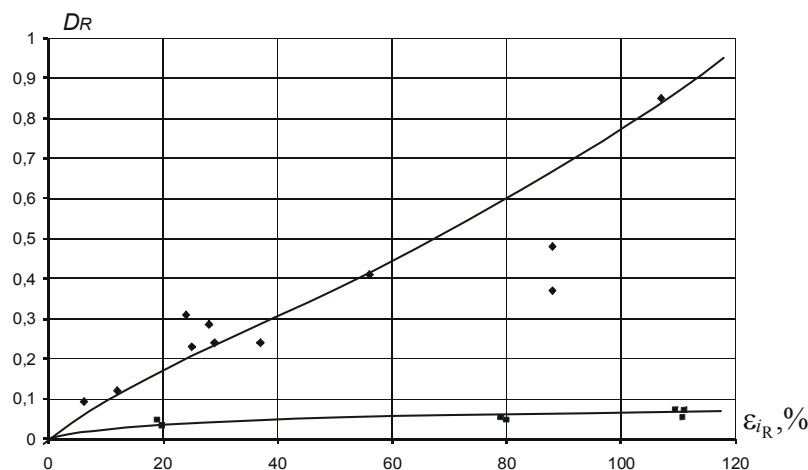


Рис. 1 Залежність критичного значення пошкоджуваності D_R від пластичної деформації для металічних конструкційних матеріалів при пружно-пластичному деформуванні (при $T=293K$): ♦ - розтяг; ■ – кручення

Розрахунок критичних значень пошкоджуваності проводились за допомогою методу найменших квадратів для лінійної регресії [12].

У регресійному аналізі вивчалась проблема кількісного впливу змінних інтенсивності деформацій ε_i

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon^2 + \frac{\gamma^2}{3}} \quad (1)$$

на числові значення критичного ступеню пошкоджуваності матеріалу D_R з врахуванням жорсткості напруженого стану K

$$K = \frac{\sigma_0}{\sigma_i} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3\sigma_i} \quad (2)$$

Позначимо через K жорсткість напруженого стану, яка змінюється від $K=0$ - при крученні до $K=0,33$ – при чистому розтязі, ε_i – інтенсивність деформацій, D_R – критичне значення пошкоджуваності матеріалу. З експериментальних даних визначалась K і ε_i та відповідне їм критичне значення пошкоджуваності D_R для даного матеріалу. Згідно рівняння лінійної регресії критичне значення пошкоджуваності описується наступною залежністю:

$$D_R = \varepsilon_i(a + b \cdot K + c \cdot K^2), \quad (3)$$

де a , b , c – константи, порядок визначення яких наведено нижче.

Для n вимірів критичних значень пошкоджуваності D_R , була побудована матриця значень K та ε_i :

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{i_1} & \varepsilon_{i_2} & \dots & \varepsilon_{i_{n-1}} & \varepsilon_{i_n} \\ K_1 & K_2 & \dots & K_{n-1} & K_n \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Позначимо матрицю

$$T = \begin{pmatrix} \varepsilon_{i_1} & \varepsilon_{i_2} & \dots & \varepsilon_{i_{n-1}} & \varepsilon_{i_n} \\ \varepsilon_{i_1} K_1 & \varepsilon_{i_2} K_2 & \dots & \varepsilon_{i_{n-1}} K_{n-1} & \varepsilon_{i_n} K_n \\ \varepsilon_{i_1} K_1^2 & \varepsilon_{i_2} K_2^2 & \dots & \varepsilon_{i_{n-1}} K_{n-1}^2 & \varepsilon_{i_n} K_n^2 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

З експериментальних даних матриця критичних значень пошкоджуваності D_R :

$$D_R = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_{n-1} \\ D_n \end{pmatrix} \quad (6)$$

Позначимо T^T – транспоніровану матрицю для матриці перетворень T :

$$T^T = \begin{pmatrix} \varepsilon_{i_1} & \varepsilon_{i_1} K_1 & \varepsilon_{i_1} K_1^2 \\ \varepsilon_{i_2} & \varepsilon_{i_2} K_2 & \varepsilon_{i_2} K_2^2 \\ \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon_{i_{n-1}} & \varepsilon_{i_{n-1}} K_{n-1} & \varepsilon_{i_{n-1}} K_{n-1}^2 \\ \varepsilon_{i_n} & \varepsilon_{i_n} K_n & \varepsilon_{i_n} K_n^2 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Введемо згідно рівняння методу найменших квадратів, матрицю

$$V = T \cdot T^T \quad (8)$$

Звідси зворотня матриця :

$$V^{-1} = T \cdot T^T \quad (9)$$

За оцінкою методів найменших квадратів та максимальної ймовірності параметрів регресії маємо:

$$\begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} = V^{-1} \cdot T \cdot D_R \quad (10)$$

В результаті проведених розрахунків отримано значення констант для рівняння (3) $a=0,979657$; $b=0,0638795$; $c=-8,25983$.

Похибка визначення значення D_R згідно рівняння (3) визначається за формулою

$$\Delta = \frac{D_R^{експ} - D_R^{теор}}{D_R^{експ}} \cdot 100\% \quad (11)$$

Згідно залежності (8) на рис. 2 приведена поверхня, яка показує критичний ступінь пошкоджуваності металічних конструкційних матеріалів при лінійному та плоскому напруженому станах.

В результаті експериментального дослідження кінетики накопичення пошкоджуваності металічних конструкційних матеріалів можна зробити висновок, що критичне значення пошкоджуваності $D_R < 1$ для всіх видів навантажень. Показано, що вид напруженого стану впливає на критичне значення пошкоджуваності. Розроблене рівняння для оцінки критичних величин пошкоджуваності в залежності від виду напруженого стану металічних конструкційних матеріалів, може бути використане для більш точних розрахунків.

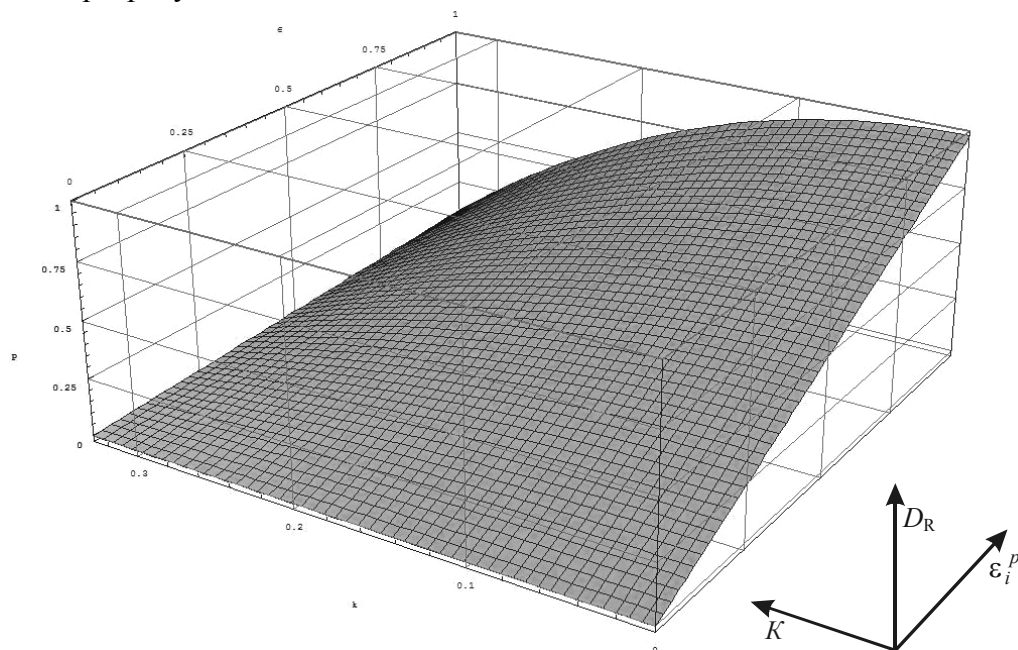


Рис. 2 Поверхнева залежність критичних значень пошкоджуваності D_R від інтенсивності деформації ε_i^p з урахуванням виду напруженого стану для металічних конструкційних матеріалів

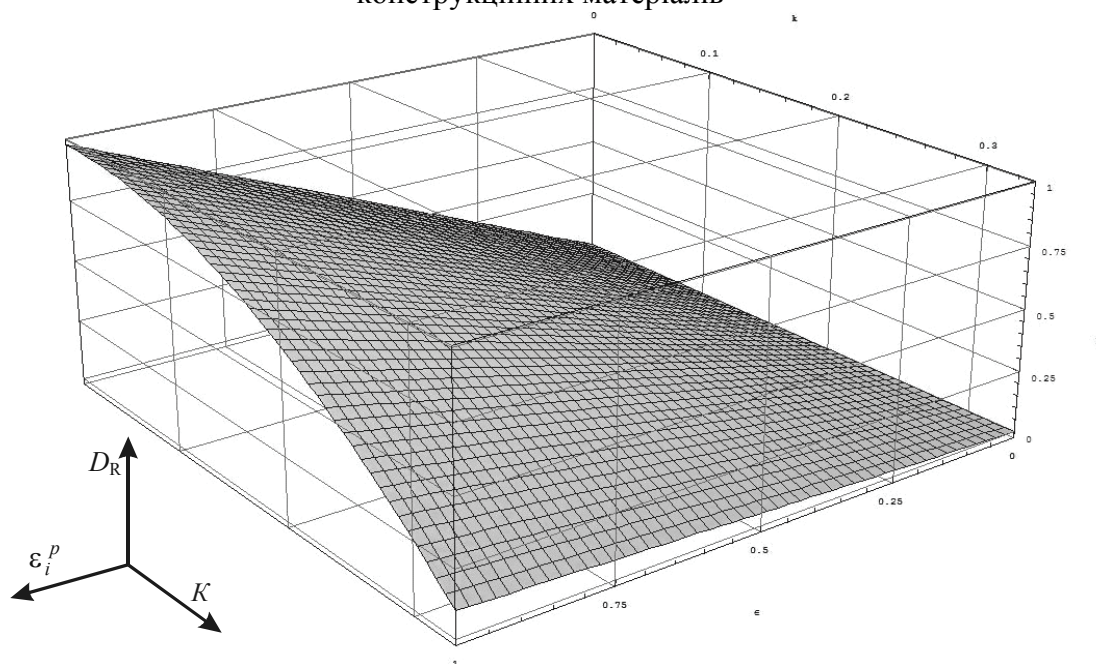


Рис. 2 Поверхнева залежність критичних значень пошкоджуваності D_R від інтенсивності деформації ε_i^p з урахуванням виду напруженого стану для металічних конструкційних матеріалів (рис. 1 повернуто)

Список літератури

1. Новожилов В.В., Кадашевич Ю.И. Микронапряжения в конструкционных материалах. – Л.: Машиностроение., 1990. – 223 с.
2. Lemaitre J. A Course on Damage Mechanics. Springer – Verlag, 1992, 210 p.
3. Лебедев А.А., Чаусов Н.Г., Богинич И.О. Модель накопления поврежденности в металлических материалах при сложном напряженном состоянии. // Проблемы прочности. – 1997 – №3 – С.55-63.
4. Грабовский А.П., Пономаренко Т.Б., Тимошенко О.В. Пошкоджувальність в конструкційних матеріалах при їх деформуванні. //Вестник НТУУ «КПІ», серія «Машиностроение». – К., 2002, №43, с. 128-133.
5. Грабовський А.П., Тимошенко О.В., Масло О.М., Халімон О.П. Дослідження кінетики пошкоджувальності в конструкційних матеріалах при складному напруженому стані. // Вестник НТУУ „КПІ”, серія Машиностроение. К. 2003, №44, с. 43-47.
6. Грабовський А.П., Тимошенко О.В., Халімон О.П. Руйнування конструкційних матеріалів при пружно-пластичному крутильному деформуванні // Вестник НТУУ „КПІ”, серія Машиностроение. К., 2004, №45, с. 6-8
7. Бобир М.І., Грабовський А.П., Тимошенко О.В. Спосіб визначення кінетики руйнування матеріалів в процесі їх пружно-пластичного деформування, Патент України №65499А (G01N3/08) Бюл. №3, 15.03.2004 р.
8. Н.И.Бобырь, А.П.Грабовский, А.В.Тимошенко, А.П.Халимон Методика определения накопления повреждений в металлических конструкционных материалах при сложном упругопластическом нагружении. // Проблеми міцності, Київ, 2006, №1, с. 128-137.
9. Бобир М.І., Грабовський А.П., Халімон О.П., Масло О.М., Тимошенко О.В. Кінетика розсіяного руйнування металевих конструктивних матеріалів при пружно-пластичному деформуванні// Проблеми міцності, Київ, 2007, №3, с.23-34.
10. Леметр Ж. Континуальная модель повреждения, используемая для расчета разрушения пластических материалов. // Теоретические основы. – 1985. – Т.107., №1 – С.90-97
11. Лебедев А.А., Чаусов Н.Г., Богинич И.О., Недосека С.А. Комплексная оценка повреждаемости материала при пластическом деформировании. // Проблемы прочности. – 1996. – №5 – С.23-30.
12. Карташов М.В. Теорія ймовірностей та математична статистика. -К.: «ПВ і МС», 2004, - 304 с.

Eugeniusz Rusiński¹, Piotr Harnatkiewicz¹, Grzegorz Przybyłek¹, Bogdan Yakhno²

1- Institute of Machine Design and Operation, Faculty of Mechanical Engineering, Wrocław University of Technology, Łukaszewicza 7/9, 50-370 Wrocław

2- National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”. Institute of Mechanical Engineering. Peremogi Ave. 37 Kiev 03056 Ukraine

ANALYSIS OF ECCENTRIC PRESS SHAFT OF FATIGUE FRACTURES

SUMMARY

The paper presents selected eccentric press stress analysis aspects. This approach is based on the assumption that fractures can be present in the analyzed constructions. Calculations define the current state of the component in view of fracture mechanics. Calculations were performed using analytical, numerical and experimental methods for construction element durability assessment.

1. INTRODUCTION

Construction element durability assessment problems are discussed by many scientific papers [1, 2, 5, 9]. Although there are many standards [3, 4, 11] simplifying durability